

COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA AL CLIMA DE *Pinus pinea* Y *Pinus pinaster* MEDIANTE ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO, EN EL PARQUE NACIONAL DAS ILLAS ATLÁNTICAS

Sonia LAMAS POSE y Vicente ROZAS ORTIZ

Centro de Investigación e Información Ambiental de Lourizán (Pontevedra)

Apartado 127, 36080 Pontevedra

RESUMEN

Se realizó un estudio dendrocronológico de las anchuras de madera temprana, tardía y de la anchura total de los anillos de crecimiento de un total de 30 testigos extraídos de 25 individuos de *Pinus pinea*, y 34 testigos de 26 individuos de *Pinus pinaster*, localizados en la isla de Cortegada, dentro del Parque Nacional das Illas Atlánticas. Se calcularon las respectivas cronologías maestras, y se estableció la correlación de éstas con los datos de temperatura media mensual, precipitación total mensual y oscilación del Atlántico Norte (NAO). Los resultados indican que la precipitación es el factor que más influye en los patrones de crecimiento de ambas especies, y destaca la mayor sensibilidad de *P. pinaster* a las precipitaciones de primavera y a la sequía estival.

Palabras clave: *Pinus* spp., madera temprana, madera tardía, dendrocronología, cambio climático, Parque Nacional das Illas Atlánticas.

ABSTRACT

A dendrochronological study of earlywood, latewood and total tree-ring widths have been made using 30 cores taken from 25 individuals of *Pinus pinea* and 34 cores of 26 individuals of *Pinus pinaster*, from the Cortegada island, which is part of the Atlantic Islands National Park. Master chronologies of each species were calculated, and their correlation with mean monthly temperature, total monthly precipitation and North Atlantic Oscillation (NAO) data was established. The obtained results indicate that precipitation is the most influent climatic factor on growth patterns for both species, and the higher sensitivity of *P. pinaster* tree-rings to spring precipitations and summer drought is remarkable.

Key words: *Pinus* spp., earlywood, latewood, dendrochronology, climatic change, Illas Atlánticas National Park.

1. INTRODUCCIÓN

La influencia del clima sobre el crecimiento de los árboles ha sido estudiada sobre todo utilizando la medida de la anchura total de los anillos que éstos forman anualmente (FRITTS, 1976). Caracteres anatómicos como la anchura de madera temprana y tardía, por separado, pueden proporcionar información más detallada sobre la respuesta climática, con una

resolución temporal inferior al año (TARDIF, 1996; LEBOURGEOIS, 2000). Este trabajo se desarrolla a partir de muestras de madera de dos especies de coníferas (*Pinus pinea* y *Pinus pinaster*) recogidas en la isla de Cortegada, localizada en el interior de la Ría de Arousa, Pontevedra, dentro del Parque Nacional das Illas Atlánticas. La especie *P. pinea* es escasa en la zona litoral de Galicia y tiene una distribución más netamente mediterránea, mientras que *P. pinaster* ha sido ampliamente utilizada para la repoblación forestal, por lo que es una importante especie maderera en esta región. Una respuesta diferencial del crecimiento de estas especies a la variación climática podría suponer una ventaja competitiva de una de ellas frente a la otra, en un escenario de cambio climático como el que se prevé para los próximos años, con reducción de las precipitaciones y elevación de las temperaturas. Los objetivos de esta investigación son: (i) conocer la correlación entre las variables climáticas precipitación y temperatura (P, T), así como el índice NAO, y las cronologías de crecimiento de ambas especies; (ii) comparar la respuesta de la madera temprana, tardía y la anchura total del anillo a P y T; (iii) comparar la respuesta de las dos especies a las mismas condiciones climáticas, esto es, temperaturas suaves, precipitaciones anuales abundantes, tendencia a la aridez estival. Los procedimientos para llevar a cabo las medidas y la toma de datos, así como las técnicas estadísticas que permiten resaltar la señal climática en las medidas de las anchuras, están estandarizadas y son de uso común y generalizado en este tipo de investigaciones.

2. MATERIAL Y METODOS

El muestreo se realizó entre los meses de octubre y diciembre de 2005. Se extrajeron al menos 2 testigos por árbol mediante una barrena Pressler, a una altura aproximada de 1,30 m sobre el suelo, seleccionándose los árboles de mayor altura y diámetro. Los testigos se dejaron secar al aire y se fijaron a un soporte de madera. Fueron pulidos con papel de lija de grano sucesivamente más fino hasta obtener una superficie lisa que permitiese observar con nitidez las características anatómicas del xilema, incluidos los límites entre los anillos. Cada testigo fue datado preliminarmente (STOKES y SMILEY, 1968) y se midieron las anchuras de la madera temprana (E) y tardía (L) consecutivamente en cada anillo, con una resolución de 0,001 mm mediante un equipo Velmex de medición de incrementos. Posteriormente se calculó la anchura total (R) como la suma de las anteriores. Las series de anchura total obtenidas fueron sincronizadas mediante el programa COFECHA (GRISSINO-MAYER, 2001), para corregir errores de datación y medición. Se seleccionaron las series con mayor correlación entre sí para calcular una cronología de cada especie. Las series individuales R, E y L fueron estandarizadas para maximizar la señal climática, y las cronologías fueron calculadas con el programa ARSTAN mediante un proceso de doble estandarización: primero se ajustaron las series a un modelo exponencial negativo o lineal para eliminar la tendencia biológica debida a la edad, y después se aplicó una función spline cúbica, lo suficientemente flexible como para minimizar las señales debidas a perturbaciones no climáticas (COOK y PETERS, 1981; BLASING *et al.*, 1983). Tras realizarse el modelado autorregresivo de la cronología promedio o estándar, se seleccionó la versión residual de las cronologías para el análisis de la respuesta al clima.

Como predictores climáticos se emplearon precipitación, temperatura y el índice de la oscilación del Atlántico Norte (NAO). Las series de datos mensuales de precipitación y temperatura se obtuvieron de los registros de la estación meteorológica de Lourizán (Pontevedra), que abarca desde 1955 a 2003 con un registro continuo. Las series mensuales de variación del índice NAO para el mismo periodo fueron obtenidas de la dirección <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>. Se calculó la correlación existente entre

las cronologías R, E y L con las series climáticas, para la elaboración de las correspondientes funciones de correlación (BLASING *et al.*, 1981).

3. RESULTADOS

El número total de testigos obtenidos asciende a 58 de *P. pinaster*, y a 60 de *P. pinea*. La anchura total de los anillos de *P. pinea* son un 40 % menores a las de *P. pinaster*, y las series cronológicas obtenidas alcanzan los 140 años para el primer caso, frente a sólo 62 años para el segundo, correspondiendo estas cifras a las edades aproximadas de los individuos (Tabla 1). Esta diferencia de edad puede estar relacionada con que los individuos de *P. pinea* parecen ser individuos residuales de antiguas plantaciones, mientras que la plantación de *P. pinaster* ha sido bastante más reciente. En ambas especies la madera temprana supone más de la mitad de la anchura total del anillo, y presenta un valor de sensibilidad media similar al de la cronología de anchura total. Las cronologías de madera tardía, por el contrario, son las que presentan mayor variabilidad interanual, y también en ambos casos muestran los mayores valores de sensibilidad media.

	Mediciones								Cronología maestra								
			R		E		L					R		E		L	
	Periodo	N	0	MS	0	MS	0	MS	Periodo	N	<i>r</i>	0	MS	0	MS	0	MS
<i>Pinus pinaster</i>	1943-2005	58	5,22	0,28	2,92	0,31	2,30	0,39	1943-2005	34	0,60	0,99	0,24	0,99	0,25	0,99	0,29
<i>Pinus pinea</i>	1865-2005	60	3,11	0,22	1,91	0,22	1,18	0,35	1872-2005	30	0,55	0,99	0,16	0,99	0,16	0,99	0,27

Tabla 1. DESCRIPTIVOS DE LAS CRONOLOGÍAS DE ANCHURAS TOTAL DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO(R), MADERA TEMPRANA (E) Y MADERA TARDÍA (L), OBTENIDAS DE *PINUS PINASTER* Y *P. PINEA* EN LA ISLA DE CORTEGADA; N: NÚMERO DE TESTIGOS QUE COMPONEN LA CRONOLOGÍA; R: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN; MS: SENSIBILIDAD MEDIA.

La cronología estandarizada de *P. pinea*, compuesta por 30 testigos, abarca desde 1872 a 2005. Los individuos de *P. pinaster* son más jóvenes, consiguiéndose una cronología de 62 años de amplitud (1943-2005) compuesta por 34 testigos (Tabla 1).

Las cronologías del crecimiento total de ambas especies se representan en la Figura 1, y de la madera temprana y tardía en la Figura 2. La correlación entre las cronologías de anchura total de ambas especies es significativa ($p < 0,01$), con un coeficiente de correlación $r = 0,40$. También resulta significativa la correlación entre las cronologías de anchuras de madera temprana ($r = 0,38$; $p < 0,01$) y tardía ($r = 0,30$; $p < 0,05$) de ambas especies.

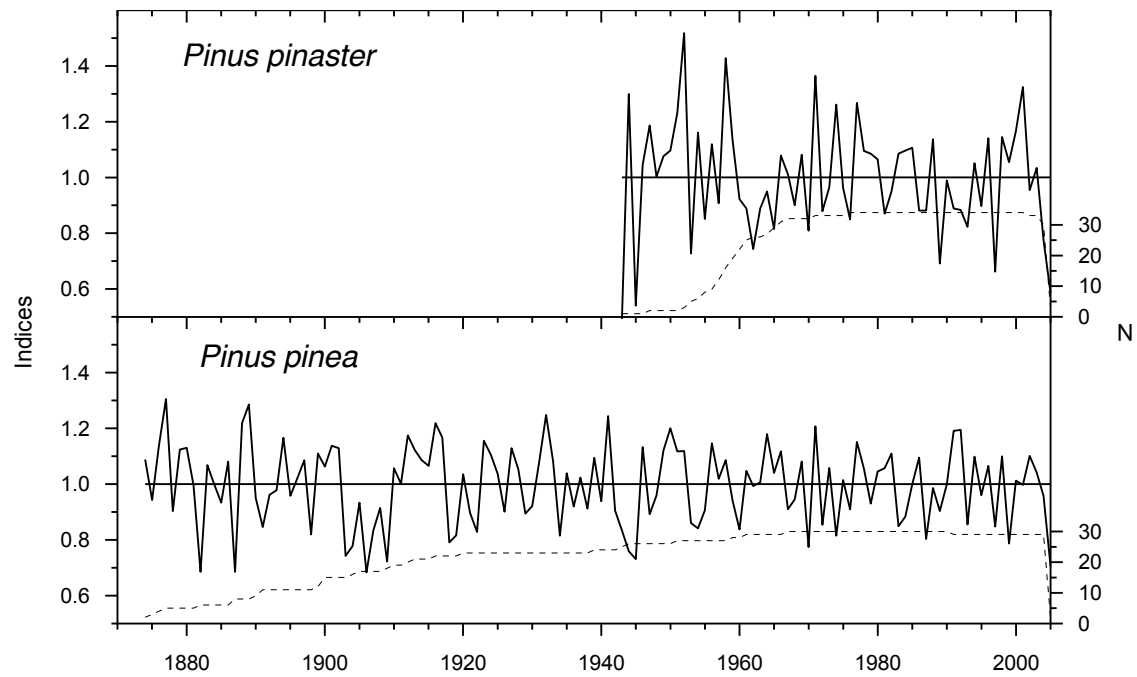


Fig. 1. Cronologías residuales del crecimiento de *Pinus pinaster* y *Pinus pinea* de la isla de Cortegada, con el tamaño de la muestra (N, número de testigos) indicado por una línea discontinua.

La correlación entre la anchura de la madera temprana resulta significativa con la de la anchura total del anillo y la de la madera tardía del año anterior ($r = 0,33$ y $r = 0,44$, respectivamente, $p < 0,01$ en ambos casos) de *P. pinea*. Sin embargo, en el caso de *P. pinaster* no se detectó una relación significativa entre las anchuras de madera temprana y madera tardía.

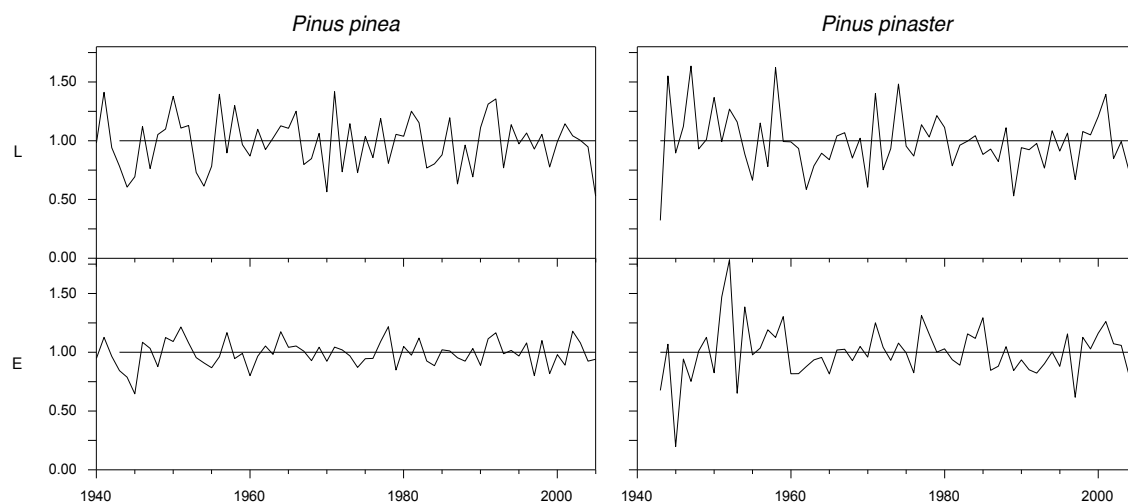


Fig. 2. Cronologías residuales de madera temprana (E) y tardía (L) de *Pinus pinaster* y *P. pinea* en la isla de Cortegada.

COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA AL CLIMA DE *Pinus pinea* Y *Pinus pinaster* MEDIANTE ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO, EN EL PARQUE NACIONAL DAS ILLAS ATLÁNTICAS

La respuesta del crecimiento de ambas especies al clima es marcadamente diferente. En el caso de *P. pinaster* se obtuvo un coeficiente negativo significativo de las series cronológicas R y E con la temperatura del mes de mayo (Figura 3). Los tres parámetros anatómicos medidos sobre los testigos de esta especie presentan correlación positiva significativa con la precipitación de los meses de enero y de julio. Sólo la cronología de madera tardía correlaciona significativamente también con la precipitación de diciembre y agosto.

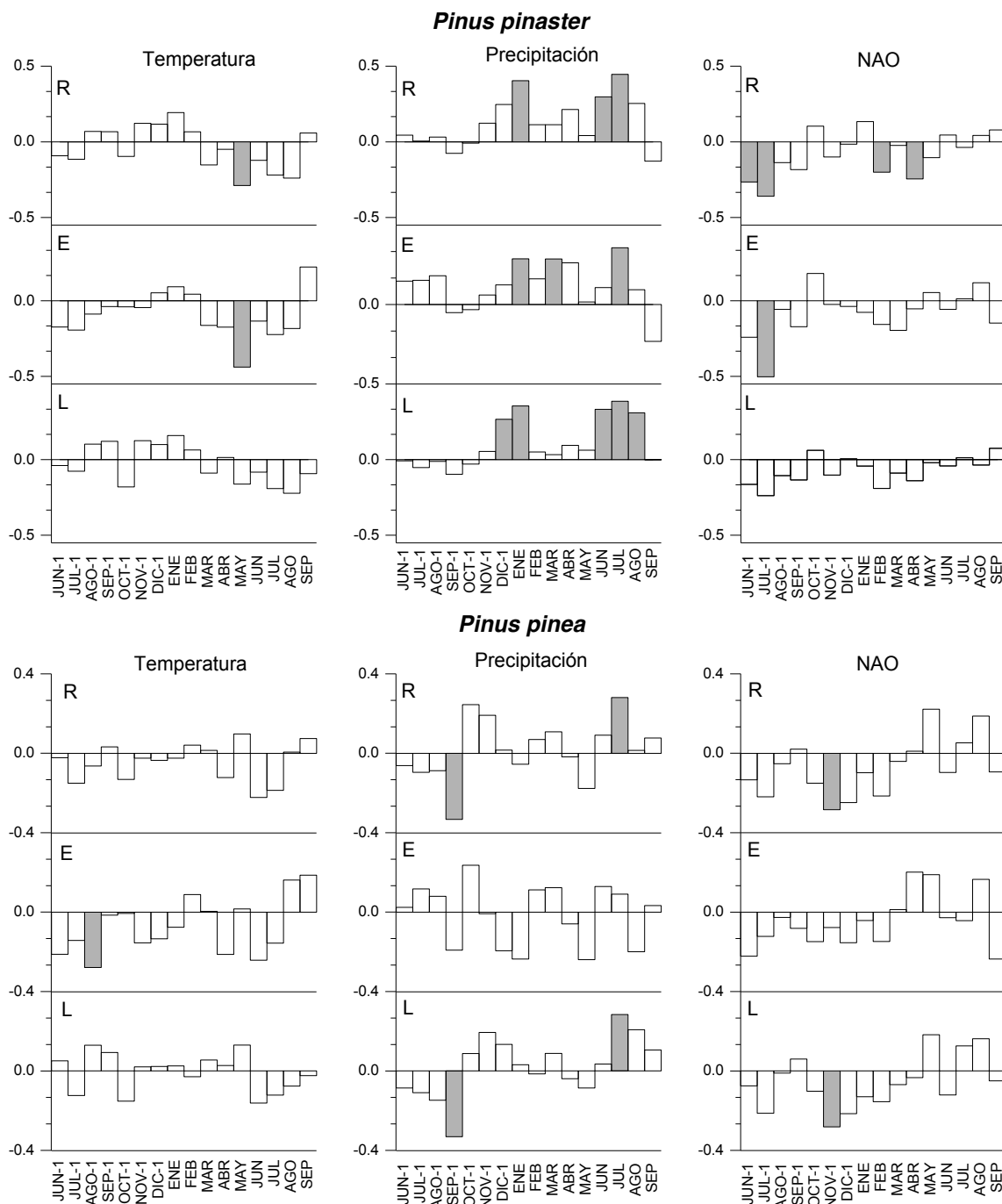


Fig. 3. Funciones de correlación para las cronologías de anchura total de los anillos (R), madera temprana (E) y madera tardía (L) de *Pinus pinaster* y *Pinus pinea* en la isla de Cortegada. Las barras sombreadas indican los casos estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

La respuesta climática de *P. pinea* sólo presenta en común con *P. pinaster* un coeficiente de correlación significativo con la precipitación del mes de julio, tanto la anchura total como la madera temprana (figura 3). También se obtuvo significación en la respuesta negativa de L a la precipitación de septiembre del año anterior, así como de E a la temperatura de agosto del año previo.

Las dos especies presentan respuestas distintas al índice NAO mensual. La cronología de la anchura total de los anillos de *P. pinaster* muestra una respuesta negativa estadísticamente significativa al índice de los meses de junio y julio del año anterior, así como al de febrero y abril del año de crecimiento (Figura 3). En este caso la cronología de madera tardía no muestra correlación alguna, mientras que el coeficiente obtenido con la madera temprana y el índice del mes de julio del año previo, es el máximo de entre todas las correlaciones estudiadas ($r = 0,51$). En el caso de *P. pinea*, sólo se obtuvo correlación significativa negativa entre el índice NAO del mes de noviembre del año previo y las cronologías tanto de anchura total como de madera tardía (figura 3).

4. DISCUSIÓN

Las características de las cronologías de madera tardía -mayor sensibilidad media, mayores coeficientes de correlación con parámetros climáticos, en ambas especies- indican que esta medida resulta apropiada para estudios dendroclimáticos, aportando información similar a la medida de anchura total, de modo concordante con los resultados encontrados en estudios sobre especies caducifolias (TARDIF, 1996) así como de otras coníferas (CAMARERO *et al.*, 1998; LEBOURGEOIS, 2000). Por el contrario, en latitudes boreales se ha registrado, en *P. sylvestris*, una mayor sensibilidad de la madera temprana, mostrando una respuesta positiva a la temperatura de primavera (TUOVINEN, 2005). La ausencia de temperaturas extremas en esta zona de estudio explica el hecho de que este parámetro no obtenga una respuesta acusada en ninguna de las dos especies, mientras que resulta ser el factor más determinante en el crecimiento de coníferas en la Europa septentrional (MÄKINEN *et al.*, 2003). De todos modos, las correlaciones significativas obtenidas con la madera temprana han resultado negativas con las temperaturas de mayo o agosto del año previo, lo que concuerda con los resultados obtenidos en otros estudios del sur de Europa (LEBOURGEOIS, 2000).

Las dos especies estudiadas presenta respuestas al clima poco similares. Estas diferencias pueden estar en parte explicadas por la distinta edad de los individuos que componen las cronologías (SZEICZ y MACDONALD, 1994; CARRER y UBINATI, 2004). En las cronologías de *P. pinaster*, las correlaciones con la precipitación y la temperatura indican que ésta es una especie adaptada al clima húmedo y templado de la región. La correlación positiva de las cronologías R, E y L con la precipitación de los meses de verano (particularmente con el mes de julio), así como el mayor crecimiento anual determinado por las precipitaciones previas al inicio de la estación de crecimiento, así lo indican. De igual modo se puede interpretar la correlación negativa de la madera temprana con las temperaturas del mes de mayo, asumiendo que en la localidad estudiada el inicio de la actividad cambial se produzca en este mes. En áreas subalpinas el inicio del crecimiento suele producirse más tarde, en el mes de junio (CAMARERO *et al.*, 1998). El estrés causado por las elevadas temperaturas repercute en un menor desarrollo de la planta en el primer período de crecimiento (ZAHNER *et al.*, 1964).

Por el contrario, la independencia del crecimiento de *P. pinea* al aporte de agua estival, indicada por menores correlaciones con las precipitaciones de verano, sugiere que esta especie presenta cierto carácter mediterráneo. La respuesta negativa de la cronología E a la temperatura de agosto del año anterior coincide con resultados hallados en otras especies, sugiriendo que el estrés causado por la sequía estival reduce las reservas acumuladas para iniciar nuevamente el desarrollo vegetativo en la siguiente temporada (TARDIF, 1996).

La respuesta de estas dos especies al índice NAO mensual también ha resultado desigual. Algunos estudios han demostrado que la NAO tiene una marcada influencia sobre las masas continentales que rodean al Atlántico Norte, controlando el crecimiento de los árboles (D'ARRIGO *et al.*, 1993; COOK *et al.*, 1998). Se ha demostrado que este índice correlaciona negativamente con las precipitaciones de esta zona de la península, particularmente en los meses de invierno (MARTÍN VIDE y FERNÁNDEZ BELMONTE, 2001). Por lo tanto, las respuestas del crecimiento a la NAO encontradas en este estudio, redundan en la relación existente entre el crecimiento y la disponibilidad de agua, mayor en los años NAO negativos y menor en los años NAO positivos.

5. CONCLUSIONES

- Sólo se aprecia cierta influencia de las temperaturas en el crecimiento anual de estas especies si pueden suponer un estrés por balance hídrico negativo durante las fases iniciales del crecimiento, en el caso de *Pinus pinaster* (correlación negativa significativa con la temperatura de mayo), o reduciendo las reservas para el crecimiento del siguiente año en el caso de *P. pinea* (correlación negativa entre la cronología E y la temperatura de agosto del año previo).
- La madera tardía, al igual que la anchura total del anillo de crecimiento anual, presenta características adecuadas para la realización de estudios dendroclimáticos.
- La disponibilidad de agua durante el período de actividad vegetativa se muestra como el factor determinante para el crecimiento anual de ambas especies, particularmente para *P. pinaster*, tanto por las correlaciones positivas con los valores de precipitación mensual como por las correlaciones negativas con el índice NAO.
- La mayor sensibilidad de *P. pinaster* a la falta de precipitación durante el invierno previo al crecimiento y durante los meses estivales sugieren una mayor susceptibilidad de esta especie a un eventual cambio climático en que disminuyese la precipitación, mientras que *P. pinea* parece ser más resistente a eventos de estrés hídrico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BLASING, T.J., DUVICK, D.N., y WEST, D.C. (1981). "Dendroclimatic calibration and verification using regionally averaged and single station precipitation data." *Tree-Ring Bulletin* 41: 37-43.
- BLASING, T.J., DUVICK, D.N., y COOK, E.R. (1983). "Filtering the effects of competition from ring-width series." *Tree-Ring Bulletin* 43. pp. 19-30.
- CAMARERO, J.J., GUERRERO-CAMPO, J. y GUTIÉRREZ, E. (1998). "Tree-ring growth and structure of *Pinus uncinata* and *Pinus sylvestris* in the Central Spanish Pyrenees". *Arctic and Alpine Research* 30. pp. 1-10.
- CARRER, M., y URBINATI, C. (2004). "Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*." *Ecology* 85(3). Pp. 730-740.

- COOK, E.R. y PETERS, K. (1981). "The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies." *Tree-Ring Bulletin* 41, pp. 45-53.
- COOK, E.R., D'ARRIGO, R.D., y BRIFFA, K.R. (1998). "A reconstruction of the North Atlantic Oscillation using tree-ring chronologies from North America and Europe." *Holocene* 8, pp. 9-17.
- D'ARRIGO, R.D., COOK, E.R., JACOBY, G.C., y BRIFFA, K.R. (1993). "NAO and sea surface temperature signatures in tree-ring records from the North Atlantic sector." *Quaternary Sciences Review* 12, pp. 431-440.
- FRITTS, H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, London.
- GRISSINO-MAYER, H.D. (2001). "Assessing crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA." *Tree-Ring Research* 57, pp. 205-221.
- LEBOURGEOIS, F. (2000). "Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France." *Annals of Forest Science* 57, pp. 155-164.
- MÄKINEN, H., PEKKA, N., KAHLE, H.P., NEUMANN, U., TVEITE, B., MIELIKÄINEN, K., RÖHLE, H., y SPIECKER, H. (2003). "Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe." *Trees* 17, pp. 173-184.
- MARTÍN VIDE, J. y FERNÁNDEZ BELMONTE, D. (2001). "El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular." *Investigaciones Geográficas* 26, pp. 41-58.
- SZEICZ, J.M., y MACDONALD, G.M. (1994). "Age-dependent tree-ring growth responses of subarctic white spruce to climate." *Canadian Journal of Forest Research* 24, pp. 120-132.
- STOKES M.A., y SMILEY T.L. (1968). *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago.
- TARDIF, J. (1996). "Earlywood, latewood and total ring width of a ring-porous species (*Fraxinus nigra* Marsh.) in relation to climatic and hydrologic-factors." En: Dean, J.S., Meko, D.M., Swetnam, T.W., *Tree Rings, Environment and Humanity, Radiocarbon* 1996, pp. 315-324.
- TUOVINEN, M. (2005). "Response of tree-ring width and density of *Pinus sylvestris* to climate beyond the continuous northern forest line in Finland." *Dendrochronologia* 22, pp. 83-91.
- ZAHNER, R., LOTAN, J.E., y BAUGHMAN, W.D. (1964). "Earlywood-Latewood features of Red Pine grown under simulated drought and irrigation." *Forest Science* 10, pp. 361-370.